

PAT-NO: JP02000037002A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2000037002 A

TITLE: ELECTRIC BRAKING DEVICE EMPLOYING SYNCHRONOUS
MACHINE

PUBN-DATE: February 2, 2000

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

WATANABE, ASAKI

COUNTRY

N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

RAILWAY TECHNICAL RES INST

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP10201669

APPL-DATE: July 16, 1998

INT-CL (IPC): B60L007/22

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electric braking device which employs a synchronous machine and can apply a braking force effectively with a simple construction.

SOLUTION: A synchronous machine 21 connected to a shaft 26 through which a braking force is applied and an electric braking circuit 22 which selects the combination of the value of a resistor 23 and the value of a reactor 24 by utilizing the fact that the generated voltage and the frequency of the synchronous machine 21 are proportional to a revolutionary speed to obtain the required braking torque-revolutional speed characteristics are provided.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-37002
(P2000-37002A)

(43) 公開日 平成12年2月2日 (2000.2.2)

(51) Int.Cl.⁷
B 6 0 L 7/22

識別記号

F I
B 6 0 L 7/22

テーマコード(参考)
G 5 H 1 0 7

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-201669

(22) 出願日 平成10年7月16日 (1998.7.16)

(71) 出願人 000173784

財団法人鉄道総合技術研究所
東京都国分寺市光町2丁目8番地38

(72) 発明者 渡邊 朝紀

東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財団
法人 鉄道総合技術研究所内

(74) 代理人 100089635

弁理士 清水 守 (外1名)

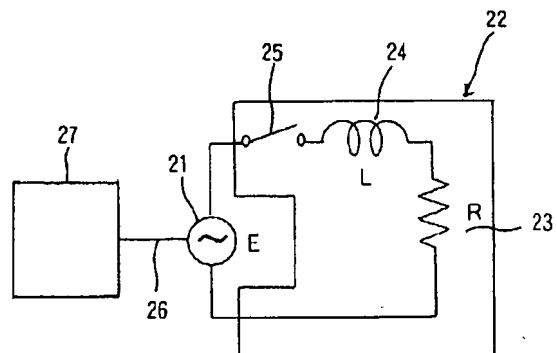
Fターム(参考) 5H107 AA08 BB01 BB04 BB10 CC03
CC05 DD09 DD10 EE01 EE21
EE29 FF03 FF21

(54) 【発明の名称】 同期機を用いた電気ブレーキ装置

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構成で、有効なブレーキを作用させることができる同期機を用いた電気ブレーキ装置を提供する。

【解決手段】 ブレーキを作用させる軸26に連結される同期機21と、この同期機21の発生電圧と周波数が回転速度に比例することを利用して、抵抗器23とリアクトル24の値との組み合わせを選定することにより、前記同期機21の所要のブレーキトルクの回転速度特性を得る電気ブレーキ回路22を具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 同期機にて発電されるブレーキエネルギーを消費する抵抗器と、ブレーキトルクの回転速度特性を適正に保つためのインピーダンス要素と、これらを接続して電気ブレーキ回路を作る開閉器とから構成される電気ブレーキ装置であって、(a)ブレーキを作用させる軸に連結される同期機と、(b)該同期機の発生電圧と周波数が回転速度に比例することを利用して、抵抗器とインピーダンス要素の値との組み合わせを選定することにより、前記同期機の所要のブレーキトルクの回転速度特性を得る電気ブレーキ回路を具備することを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項2】 請求項1記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記インピーダンス要素としてリアクトルを用い、前記抵抗器とリアクトルを直列接続し、前記抵抗器の抵抗 R とリアクトルのインダクタンス L で定まる周波数 $R/(2\pi L)$ を調整して、最高回転速度に対応する最高周波数の $1/2$ 以上として、前記周波数 $R/(2\pi L)$ 付近に対応する回転速度域で、ほぼ一定のブレーキトルクが得られるようにしたことを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項3】 請求項1記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記インピーダンス要素としてリアクトルを用い、前記抵抗器とリアクトルを直列接続し、前記リアクトルのインダクタンス L と前記抵抗器の抵抗 R の値で定まる周波数 $R/(2\pi L)$ を最高周波数より十分低い値に調整して、高回転速度域でブレーキトルクが回転速度に反比例する特性を有するようにしたことを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項4】 請求項1記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記抵抗器のみの第1の回路と、抵抗器とリアクトルを直列接続した第2の回路とを並列接続し、前記第1の回路と、前記第2の回路のブレーキトルクの回転速度特性の和が、所定のブレーキトルクの回転速度特性となるようにしたことを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項5】 請求項1記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、リアクトルと直列に抵抗器を接続し、該抵抗器を複数個設けて、該複数個の抵抗器を前記リアクトルに直列または並列接続可能にして、高速度域ではより高い抵抗値となるように、また低速度域ではより低い抵抗値となるように、前記回路の抵抗値を特定速度にて切換え可能としたことを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項6】 請求項2又は3記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記抵抗器とリアクトルを直列接続した回路において抵抗器とリアクトルを複数個設けて、これらを直列または並列接続可能として、前記回路の抵抗とインダクタンスを同じ割合で変更することにより、前記回路のインピーダンスの大きさの平方根に逆

比例してブレーキトルクを変化させることを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項7】 請求項4記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記抵抗器のみの第1の回路と、抵抗器とリアクトルを直列接続した第2の回路とを並列接続し、抵抗器とリアクトルを複数個設けて、これらを直列または並列接続可能として、前記第1の回路の抵抗、及び前記第2の回路の抵抗とインダクタンスを同じ割合で変更することにより、ブレーキトルクを同期機から見たインピーダンスの大きさの平方根に逆比例して変化させることを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項8】 請求項1記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記同期機の界磁電流を調整して誘起電圧を変更可能としたことを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項9】 請求項8記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記同期機のある回転速度以上で、前記同期機の界磁電流を調整して誘起電圧が一定となるようにしたことを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項10】 請求項8記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記同期機の同一回転速度において、ブレーキトルクが誘起電圧の平方根に比例することを利用して、界磁電流を調整することにより、所定のブレーキトルクを得るようにしたことを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項11】 請求項1記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記同期機は回転子として永久磁石を具備することを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項12】 請求項1記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記ブレーキを作用させる軸は、車両の車輪の回転軸であることを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【請求項13】 請求項12記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記車両は、駆動電動機が搭載されていない付随車両であることを特徴とする同期機を用いた電気ブレーキ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、同期機を用いた電気ブレーキ装置に係り、特にブレーキを作用させる軸に連結される同期機に抵抗器とリアクトルを組み合わせで接続し、電力変換器なしで所定のブレーキ力の回転速度特性を得るようにした電気ブレーキ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】交流回転機で電気ブレーキをかけるには、一般にはインバータが必要である。また、抵抗器を

そのまま負荷とすると、ブレーキ力が回転速度に比例し、ごく特定の用途でしか使えないという問題点がある。従来の電気ブレーキ装置は、駆動用電動機やインバータを用いて、インバータの制御によりブレーキトルクを変えており、駆動用電動機を搭載した電動車でのみ使用することができた。また、駆動用電動機が搭載されていない付随車両では、ディスクブレーキや踏面ブレーキなどの機械ブレーキが用いられ、摩擦による磨耗があり、ブレーキ部品の磨耗状態の検査や交換などの定期的な保守を必要としていた。

【0003】同期機を電動機として用い、しかも電気ブレーキを利用する場合、電動機に給電するためにインバ

$$I_s = (E_s - E_c) / (R_0 + j 2 \pi f L_0) \quad \dots (1)$$

ここで、 R_0 と L_0 は同期機2の内部抵抗とインダクタンス、 f は回転周波数である。

【0005】 E_s と I_s の向きが反対方向となるように、インバータ1の発生電圧 E_c を調整すると、インバータ1より同期機2に電力が供給され、同期機2は回転トルクを発生する。また、 E_s と I_s の向きが同一方向となるようにインバータ1の発生電圧 E_c を調整すると、同期機2は発電機としてインバータ1に電力を送出し、同時にブレーキトルクを発生する。インバータ1の制御により、広い範囲でブレーキトルクを調整することが可能である。

【0006】このような従来の技術を用いれば、同期機2は電動機としても発電機としても動作させることができるが、インバータ1のような電力変換装置が必要で、しかも、この電力変換装置は、同期機2との間で出入する電力を扱える容量でなければならない。また、インバータ1等の電力変換装置の直流側には、電力を回生または消費するための機器が必要である。

$$E = k \phi n$$

と表すことができ、抵抗器12の抵抗を R とすると、同期機11の内部抵抗とインダクタンスを無視すれば、図★

$$I = E / R$$

の電流が流れ、図21(b)に示すように、ブレーキがかかる。

$$P = I^2 R = E^2 / R = (k \phi n)^2 / R \quad \dots (4)$$

と表され、回転速度 n の2乗に比例する。一方、損失を無視すると、ブレーキトルクと回転速度の積がブレーキパワーであり、抵抗器12で消費される電力 P と等し

$$T_B n = P = (k \phi n)^2 / R \quad \dots (5)$$

従って、ブレーキトルク T_B は回転速度 n に比例する。

$$T_B = (k \phi)^2 \cdot n / R \quad \dots (6)$$

抵抗器12の切換えをしないとすると、このようにブレーキトルク T_B が回転速度 n に比例し、特定の用途(下り勾配での抑速ブレーキ)以外は使い難い。

【0012】(2) 界磁制御の問題点

図22は界磁電流制御回路を加えた、同期発電機に抵抗★

$$\phi^2 = T_B R / k^2 n \quad \dots (7)$$

*ータが必要であり、電気ブレーキにはそのインバータを利用するのが普通である。そして、同期機の発生する三相交流誘起電圧に対して、同期した三相交流電圧をインバータにより発生させれば、そのインバータの発生する電圧の振幅と位相を調整することにより、電動機として回転させることも、発電機として電力を取り出すことも可能である。

【0004】図18はかかる従来の電力回生ブレーキの回路図、図19は従来の発電抵抗ブレーキの回路図である。これらの図において、同期機2の誘起電圧を E_s 、インバータ1の発生電圧を E_c とすると、同期機2の電流 I_s は次のように表される。

※【0007】つまり、従来の技術では、同期機2でブレーキをかけ、ブレーキトルクを制御するには、ブレーキ出力を処理できる容量のインバータなどの電力変換装置が必要であった。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】さらに、下記のように構成した技術では、以下に示すような問題点が考えられる。図20は同期発電機に抵抗器を接続した回路(推測回路)図であり、ここでは、同期機の内部抵抗とインダクタンスは無視されている。図21はその発電ブレーキ特性図(R)である。

【0009】(1) 同期機11に抵抗を接続した場合の問題点(R回路)

図20に示すように、同期機11に開閉器13を介して抵抗器12を接続すれば、ブレーキ回路を構成することができると考えられる。しかし、同期機11の磁束 ϕ が一定であれば、同期機11の誘起電圧 E は回転速度 n に比例するので、

$$\dots (2)$$

★21(a)に示すように、

$$\dots (3)$$

☆【0010】抵抗器12で消費される電力は、図21

☆ (c)に示すように、

◆い。

【0011】

$$\dots (5)$$

$$\dots (6)$$

*を接続した回路(推測回路)図である。このような場合に、同期機11の界磁電流を調整して、一定のブレーキトルクとなるようにすることが考えられる。

【0013】上記の式より

$$\dots (7)$$

$$\therefore \phi = (1/k) \sqrt{(T_B R/n)}$$

従って、回転速度 n が変化してもブレーキトルク T_B を一定に保つ方法として、磁束 ϕ を $1/\sqrt{n}$ に比例して変化させることが考えられる。

【0014】最高回転速度の $1/10$ の回転速度まで一定ブレーキトルクを得るには、磁束は、最高回転速度の時の磁束を、 ϕ_{min} とすると、その $1/10$ の回転速度では $\sqrt{10} \phi_{min} \approx 3 \phi_{min}$ とする必要がある。このように界磁電流を調整すればよいが、回転機としては、最高回転速度で必要な磁束の3倍の磁束を発生しなければならないので、その分、磁路の鉄芯断面積を大きくしなければならず、不利である。

【0015】本発明は、上記問題点を除去し、簡単な構成で、有効なブレーキを作用させることができる同期機を用いた電気ブレーキ装置を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するために、

〔1〕同期機にて発電されるブレーキエネルギーを消費する抵抗器と、ブレーキトルクの回転速度特性を適正に保つためのインピーダンス要素と、これらを接続して電気ブレーキ回路を作る開閉器とから構成される電気ブレーキ装置であって、ブレーキを作用させる軸に連結される同期機と、この同期機の発生電圧と周波数が回転速度に比例することを利用して、抵抗器とインピーダンス要素の値との組み合わせを選定することにより、前記同期機の所要のブレーキトルクの回転速度特性を得る電気ブレーキ回路を具備するようにしたものである。

【0017】〔2〕上記〔1〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記インピーダンス要素としてリアクトルを用い、前記抵抗器とリアクトルを直列接続し、前記抵抗器の抵抗 R とリアクトルのインダクタンス L で定まる周波数 $R/(2\pi L)$ を調整して、最高回転速度に対応する最高周波数の $1/2$ 以上として、前記周波数 $R/(2\pi L)$ 付近に対応する回転速度域で、ほぼ一定のブレーキトルクが得られるようにしたものである。

【0018】〔3〕上記〔1〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記インピーダンス要素としてリアクトルを用い、前記抵抗器とリアクトルを直列接続し、前記リアクトルのインダクタンス L と前記抵抗器の抵抗 R の値で定まる周波数 $R/(2\pi L)$ を最高周波数より十分低い値に調整して、高回転速度域でブレーキトルクが回転速度に反比例する特性を有するようにしたものである。

【0019】〔4〕上記〔1〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記抵抗器のみの第1の回路と、抵抗器とリアクトルを直列接続した第2の回路とを並列接続し、前記第1の回路と、前記第2の回路のブレ

…〔8〕

*ーキトルクの回転速度特性の和が、所定のブレーキトルクの回転速度特性となるようにしたものである。

〔5〕上記〔1〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、リアクトルと直列に抵抗器を接続し、この抵抗器を複数個設けて、これらの複数個の抵抗器を前記リアクトルに直列または並列接続可能にして、高速度域ではより高い抵抗値となるように、また低速度域ではより低い抵抗値となるように、前記回路の抵抗値を特定速度にて切り換え可能としたものである。

【0020】〔6〕上記〔2〕又は〔3〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記抵抗器とリアクトルを直列接続した回路において抵抗器とリアクトルを複数個設けて、これらを直列または並列接続可能として、前記回路の抵抗とインダクタンスを同じ割合で変更することにより、前記回路のインピーダンスの大きさの平方根に逆比例してブレーキトルクを変化させるようにしたものである。

【0021】〔7〕上記〔4〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記抵抗器のみの第1の回路と、抵抗器とリアクトルを直列接続した第2の回路とを並列接続し、抵抗器とリアクトルを複数個設けて、これらを直列または並列接続可能として、前記第1の回路の抵抗、及び前記第2の回路の抵抗とインダクタンスを同じ割合で変更することにより、ブレーキトルクを同期機からみたインピーダンスの大きさの平方根に逆比例して変化させるようにしたものである。

【0022】〔8〕上記〔1〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記同期機の界磁電流を調整して誘起電圧を変更可能としたものである。

〔9〕上記〔8〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記同期機のある回転速度以上で、前記同期機の界磁電流を調整して誘起電圧が一定となるようにしたものである。

【0023】〔10〕上記〔8〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記同期機の同一回転速度において、ブレーキトルクが誘起電圧の平方根に比例することを利用して、界磁電流を調整することにより、所定のブレーキトルクを得るようにしたものである。

〔11〕上記〔1〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記同期機は回転子として永久磁石を具備するようにしたものである。

【0024】〔12〕上記〔1〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記ブレーキを作用させる軸は、車両の車輪の回転軸である。

〔13〕上記〔12〕記載の同期機を用いた電気ブレーキ装置において、前記車両は、駆動電動機が搭載されていない付随車両である。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態につい

て詳細に説明する。本発明は、同期機を用いて電気ブレーキをかける際に、インバータなどの電力変換装置を用いず、抵抗器やリアクトルなどの受動的な回路要素と開閉器のみでブレーキ回路を構成し、しかも必要なブレーキトルクの速度特性を受動的な回路要素の組み合わせで構成するようにして、安価な電気ブレーキ装置を提供するようにしている。

【0026】具体的な用途として、電気鉄道用車両のうち特に駆動用電動機を装着していない付随車両で使用可能な安価な電気ブレーキ装置が考えられる。本発明は、付随車両に最小限の電気機器を搭載して電気ブレーキ力を得るようにすることにより、通常時に機械ブレーキの使用をなくし、定期的な機械ブレーキ装置の保守を不要にすることができる。

【0027】また、これに限定されるものではなく、自動車用の電気ブレーキシステムのバックアップ用として、本発明の同期機を用いた電気ブレーキ装置を付加することができる。更に、このような本発明の同期機を用いた電気ブレーキ装置の付加的適用により、従来の機械*

$$Z = R + j 2 \pi f L \quad \dots (9)$$

と表すことができる。

※なる。

【0030】従って、電流の振幅は $|I|$ は次のように※

$$|I| = E / |Z| = E / \sqrt{R^2 + (2 \pi f L)^2} \quad \dots (10)$$

ここで

$$n = k_1 f \text{ とすると、}$$

$$|I| = k k_1 \phi f / \sqrt{R^2 + (2 \pi f L)^2}$$

$$f \ll R / 2 \pi L \text{ のとき } |I| \rightarrow k k_1 \phi f / R$$

$$f \gg R / 2 \pi L \text{ のとき } |I| \rightarrow k k_1 \phi / (2 \pi L) \text{ (一定)}$$

$$\dots (11)$$

つまり、周波数 $f = R / (2 \pi L)$ を境として低速域で 30★ほぼ一定となる。電流 $|I|$ の式よりブレーキ出力を求め電流は回転速度に比例し、高速域で回転速度によらず★ ると、

$$P = I^2 R = R (k k_1 \phi f)^2 / [R^2 + (2 \pi f L)^2] \dots (12)$$

となるからブレーキトルク T_B は、次のように表され ☆【0031】

る。

☆

$$T_B = P / k_1 f = (k \phi)^2 k_1 R \cdot f / [R^2 + (2 \pi f L)^2] \quad \dots (13)$$

従って、

$$f \ll R / 2 \pi L \text{ のとき } T_B \rightarrow (k \phi)^2 k_1 \cdot f / R$$

$$f \gg R / 2 \pi L \text{ のとき } T_B \rightarrow (k \phi)^2 k_1 R / (2 \pi L)^2 f$$

従って、 $f \gg R / (2 \pi L)$ のとき、ブレーキトルク T_B 40◆大となる点、およびブレーキトルク最大値の関係を考察する。ブレーキトルクを回転周波数 f で微分すると、

【0032】ここで、 R と L の値とブレーキトルクが最◆

$$\begin{aligned} dT_B / df \\ = (k \phi)^2 k_1 R \cdot [R^2 - (2 \pi f L)^2] / [R^2 + (2 \pi f L)^2]^2 \end{aligned} \quad \dots (14)$$

となり、 $f = R / (2 \pi L)$ で最大値をとる。この時のブレーキトルクは、

$$T_B = (k \phi)^2 k_1 / (4 \pi L) \quad \dots (15)$$

となり、 R の値によらず L に反比例する。すなわち R を *とができる。

変えるとブレーキトルクの最大値を変えずに、ブレーキトルクが最大となる回転周波数(回転速度)を変えろ *

8
*的ブレーキをなくすようにすることができるようになるう。

【0028】図1は本発明の第1実施例を示す同期機を用いた電気ブレーキ装置(RL回路)の構成図、図2はその発電ブレーキ特性図(RL)(その1)、図3はその発電ブレーキ特性図(RL)(その2)である。図1において、21は同期機、22は電気ブレーキ回路であり、その電気ブレーキ回路22は、抵抗器23、リアクトル24、開閉器25から構成されている。その同期機21はブレーキを作用させるべき軸26(例えば、車軸、駆動軸)に連結されており、その軸26はブレーキを作用させるべき装置(例えば、鉄道車両用車輪、自動車の車輪)27に連結されている。

【0029】この図に示すように、この実施例の電気ブレーキ回路の要素であるリアクトルのインダクタンス L と抵抗器の抵抗 R を直列接続した発電ブレーキ回路(RL回路という)を考えると、インピーダンス Z は周波数を f として、

【0033】したがって、速度や回転数に反比例するブレーキトルクが必要な時、RL回路が使えろ。この例を

図2に示す。この図において、図2(a)は回転速度(km/h)に対する全電流(A)特性図、図2(b)は回転速度(km/h)に対するブレーキ力(kN)特性図、図2(c)は回転速度(km/h)に対する出力(kW, kVA)であり、曲線aは同期機の皮相出力 *

$$V = (n / G_R) \times \pi D$$

と表され、回転速度nと走行速度Vは比例する。上記した式(2)のように誘起電圧Eは回転速度nに比例するので、今誘起電圧をE[V]、走行速度をV[km/h]として、E/Vを誘起電圧比と呼ぶことにする。同※10

$$F_b = T_B \times G_R / (D/2)$$

また、ブレーキ出力P[kW]は電気的には電流I[A]と電圧の積/1000[V]で表されると共に、★

$$F_b = (P/V) \times 3.6$$

以下図においては回転速度nのかわりに走行速度V[km/h]を、ブレーキトルクT_Bのかわりにブレーキ力F_Bを用いて説明する。

【0036】なお、ここで、同期機の極数Pは6、抵抗器の抵抗Rは1Ω、リアクトルのインダクタンスLは0.001H(ヘンリー)、誘起電圧定数Kは10、最大周波数f_{max}は600Hz、最大誘起電圧E_{max}は1☆

$$F = F_0 [1 / (V + 85)]$$

但し、Fは引張力、F₀は定数、Vは走行速度とするもので、高速域ではほぼ速度に反比例しており、RL回路を使うことができる。

【0037】図3は図2の場合に比較して、抵抗の値を2.6倍にし、ブレーキトルクが最大となる回転速度を、図2の2.6倍である、最高回転周波数の69%とした実施例である。つまり、図3において、図3(a)は回転速度(km/h)に対する全電流(A)特性図、図3(b)は回転速度(km/h)に対するブレーキ力(kN)特性図、図3(c)は回転速度(km/h)に対する出力(kW, kVA)であり、曲線aは同期機の皮相出力(kVA)、曲線bはブレーキ出力(kW)である。

【0038】なお、ここで、同期機の極数は6、抵抗器の抵抗Rは2.6Ω、リアクトルのインダクタンスLは0.001H(ヘンリー)、誘起電圧定数Kは10、最大周波数f_{max}は600Hz、最大誘起電圧E_{max}は1000V、最大ブレーキ力F_{bmax}は4.77kN、最大ブレーキ出力P_{max}は124.0kW、同期機の皮相出力P_{vmax}は218.4kVA、R/(2πL)は413.8Hzである。

【0039】この場合には、低回転速度域でのブレーキトルクはより小さいが、高回転速度域で広い回転速度範囲にわたって、一定の大きさのブレーキ力を得ることができる。次に、本発明の第2実施例について説明する。図4は本発明の第2実施例を示す同期機を用いた電気ブレーキ装置(R-RL回路)の構成図、図5はその発電ブレーキ特性図(R-RL)である。ここでは、上記し◆50

*(kVA)、曲線bはブレーキ出力(kW)である。

【0034】今同期機が歯車装置を介して車輪にブレーキトルクを伝達するとすると、歯車比をG_R、車輪直径をDとすると、走行速度Vは

$$\dots (16)$$

※様にブレーキトルクT_Bと車輪周上のブレーキ力F_bとは歯車効率を無視すると、下式のような比例関係にある。

【0035】

$$\dots (17)$$

★ブレーキ力F_b[kN]と走行速度V[km/h]/3.6の積でも表される。

$$\dots (18)$$

☆000V、最大ブレーキ力F_{bmax}は4.77kN、最大ブレーキ出力P_{max}は65.7kW、同期機の皮相出力P_{vmax}は256.4kVA、R/(2πL)は159.2Hzである。この場合の適用が考えられるのは、新幹線の粘着計画式にそったブレーキ力がある。これは、

$$\dots (19)$$

◆た第1実施例と同じ部分については、同じ符号を付してそれらの説明は省略する。

【0040】図4において、この実施例の電気ブレーキ回路30は、第1の抵抗器31と、これに並列に接続されるリアクトル32と第2の抵抗器33が開閉器34を介して同期機21に接続されている。この実施例では、図4に示すように、R回路とRL回路の並列接続からなる。この場合、ブレーキトルクは、各々の回路のブレーキトルクの和となる。

【0041】(1)R回路のブレーキトルクT_{B1}が回転数又は回転速度に比例することと、(2)f ≫ R₂ / (2πL₂)の時RL回路のブレーキトルクT_{B2}が回転速度に反比例することを利用すれば、R₁、R₂、L₂の値を調整することにより、広い回転速度域にわたってほぼ一定のブレーキトルクを得ることができる。これを図5に示す。この図5において、図5(a)は回転速度(km/h)に対する全電流(A)特性図、図5(b)は回転速度(km/h)に対する電流(A)特性図、図5(c)は回転速度(km/h)に対するブレーキ力(kN)の分担特性図、図5(d)は回転速度(km/h)に対するブレーキ力(kN)特性図、図5(e)は回転速度(km/h)に対する出力(kW, kVA)であり、曲線aは同期機の皮相出力(kVA)、曲線bはブレーキ出力(kW)である。

【0042】なお、ここで、同期機の極数Pは6、抵抗器の抵抗R₁は12Ω、抵抗器の抵抗R₂は1.2Ω、リアクトルのインダクタンスLは0.001H(ヘンリー)、誘起電圧定数Kは10、最大周波数f_{max}は60

0 Hz、最大誘起電圧 E_{max} は1000 V、最大ブレーキ力 F_{bmax} は4.29 kN、最大ブレーキ出力 P_{bmax} は119.2 kW、同期機の最大皮相出力 P_{Vmax} は207.0 kVA、 $R/(2\pi L)$ は127.3 Hzである。

【0043】このようにして、同期機21の磁束を一定に保つだけで、インバータなどの電力変換装置を用いなくても、広い回転速度範囲にわたって、一定のブレーキトルクが得られることを示すことができた。本発明の第2実施例のように、回転速度が変化しても一定のブレーキトルクとしたい用途は数多い。例えば、最高速度120 km/h程度までの鉄道車両では、速度が変化してもブレーキノッチに対してほぼ一定のブレーキ力となるように設計されている。

【0044】なお、本発明の第1、第2実施例の応用として、抵抗器又はリアクトルにタップを設けて、ブレーキ指令に合わせて切換え、ブレーキトルクを変化させることも考えられる。本発明の第1実施例の抵抗器を2組設け、抵抗器を回転速度により、切換え可能とすると、例えば、高回転速度の領域で抵抗の値が大きくなるようにし、低回転速度の領域では抵抗の値が小さくなるようにすると、抵抗器の切換えをしない場合より広い回転速度範囲で高いブレーキトルクが得られるようにすることができる。

【0045】図6は本発明の第1実施例で更に抵抗を切換可能にした場合の電気ブレーキ装置の構成図、図7はその発電ブレーキ特性図である。ここでは、上記した第1実施例と同じ部分については、同じ符号を付してそれらの説明は省略する。図6(a)において、40は電気ブレーキ回路、41はリアクトル、42はそのリアクトル41に直列に接続される第1の抵抗器、43はその第1の抵抗器42に直列に接続される第2の抵抗器であり、第1の抵抗器42は、第1の開閉器44により短絡可能に接続されており、それらのリアクトル41、第1の抵抗器42、第2の抵抗器43は第2の開閉器45を介して同期機21に接続できるようになっている。

【0046】図6(b)において、50は電気ブレーキ回路、51はリアクトル、52はそのリアクトル51に直列に接続される第1の抵抗器、53はその第1の抵抗器52に並列に接続される第2の抵抗器であり、第1の抵抗器52には第1の開閉器54が、第2の抵抗器53には第2の開閉器55がそれぞれ直列に接続されている。

【0047】図6(a)において、第2の抵抗器43の抵抗 R_{21} の値を、図2の場合の抵抗器23の抵抗 R と同じとし、第1の抵抗器42の抵抗 R_{22} と第2の抵抗器43の抵抗 R_{21} の和を図3の場合の抵抗器23の抵抗 R の値と同じとして、かつ抵抗器として、最高回転速度の43%までの高回転速度域では、第2の抵抗器43と第1の抵抗器42の抵抗 R_{21} と R_{22} を共に使用し、それ以下

の速度では、第1の抵抗器42の抵抗 R_{22} を短絡して、第2の抵抗器43の抵抗 R_{21} のみを使用すれば、図7のブレーキトルク特性が得られ、より広い回転速度域でほぼ一定のブレーキトルクを得ることができる。

【0048】なお、図6(b)の回路構成では、第1の抵抗器52の抵抗 R_{21} の値を図3の場合の抵抗器23の抵抗 R の値と同じとし、第1の抵抗器52と第2の抵抗器53の抵抗 R_{21} と R_{22} の並列接続時の合成抵抗が図3の場合の抵抗器23の抵抗 R の値と同じになるようにして、高回転速度域で第1の抵抗器52の抵抗 R_{21} のみを使用し、低回転速度域で第1の抵抗器52と第2の抵抗器53の抵抗 R_{21} と R_{22} を共に使用しても、同様に図7のブレーキトルク特性が得られる。

【0049】抵抗とインダクタンスの値を切換えて、ブレーキトルクを調整することも可能である。図8は本発明の第2実施例で抵抗 R_1 、 R_2 とインダクタンス L_2 を切換可能とした場合の電気ブレーキ装置の構成図、図9はその発電ブレーキ特性図である。ここでは、上記した第1実施例と同じ部分については、同じ符号を付してそれらの説明は省略する。

【0050】図8において、60は電気ブレーキ回路であり、第1の抵抗器61と第2の抵抗器62が直列に接続され、その直列接続された第1の抵抗器61と第2の抵抗器62に並列に、第1のリアクトル63、第2のリアクトル64、第3の抵抗器65、第4の抵抗器66が直列に接続されており、第1の抵抗器61は第1の開閉器67により短絡可能に、第2のリアクトル64と第3の抵抗器65の直列回路は第2の開閉器68により短絡可能に接続され、同期機21には第3の開閉器69が接続されている。

【0051】このように、図4に示す場合の各抵抗器とリアクトル(インダクタンス)を2組設け、各々を直列接続したのが、図8である。いま、 R_{11} 、 R_{21} 、 L_{21} を図5の R_1 、 R_2 、 L_2 と等しい値とし、 R_{12} 、 R_{22} 、 L_{22} を、図5の R_1 、 R_2 、 L_2 の $(\sqrt{2}-1)$ 倍の値とした場合に、 $R_{11}+R_{12}$ 、 $R_{21}+R_{22}$ 、 $L_{21}+L_{22}$ の値は、図5の R_1 、 R_2 、 L_2 の $\sqrt{2}$ 倍となり、図5の場合の1/2のブレーキトルクを得ることができる。しかも、 R_{11} 、 R_{21} 、 L_{21} のみを使用すれば、図5の場合のブレーキトルクを得ることができる。これを図9に示す。

【0052】このようにブレーキをかける際に、必要なブレーキ力に応じて、上記のように抵抗とインダクタンスの値を切換えることが考えられる。図9は、その発電ブレーキ特性図(2組の $R-L$)であり、図9(a)は回転速度(km/h)に対する全電流(A)特性図、図9(b)は回転速度(km/h)に対する電流(A)特性図、図9(c)は回転速度(km/h)に対するブレーキ力(kN)の分担特性図、図9(d)は回転速度(km/h)に対するブレーキ力(kN)特性図、図9

(e)は回転速度(km/h)に対する出力(kW, kVA)であり、曲線aは同期機の皮相出力(kVA)、曲線bはブレーキ出力(kW)である。

【0053】なお、ここで、同期機の極数Pは6、抵抗器の抵抗 R_1 は12Ω、抵抗器の抵抗 R_2 は1.2Ω、リアクトルのインダクタンスLは0.0015H(ヘンリー)、誘起電圧定数Kは10、最大周波数 f_{max} は600Hz、最大誘起電圧 E_{max} は1000V、最大ブレーキ力 $F_{b_{max}}$ は4.29kN、最大ブレーキ出力 $P_{b_{max}}$ は119.2kW、同期機の最大皮相出力 $P_{v_{max}}$ は207.0kVA、 $R/(2\pi L)$ は127.3Hzである。

【0054】図10は本発明の第3実施例を示す同期機の発生電圧を可変とした場合の電気ブレーキ装置の構成図、図11はその発電ブレーキ特性図(その1)、図12はその発電ブレーキ特性図(その2)である。ここでは、上記した第1実施例と同じ部分については、同じ符号を付してそれらの説明は省略する。同期機の界磁電流を制御すると、誘起電圧Eを変化させることができ、更に、ブレーキトルクを広い範囲で変えることができる。すなわち、例えば、本発明の第1実施例と界磁電流の制御とを組み合わせると、磁束の大きさが、図3の場合の $(1/2)^{1/2}$ となるように界磁電流を変化させた場合のブレーキトルクは、図3のブレーキトルクの1/2の大きさになる。これを図11に示す。

【0055】次に、ある回転速度以下では磁束の大きさを一定とし、その回転速度を超えると磁束の大きさを回転速度に反比例させ、回転速度が変化しても誘起電圧が一定となるようにし、本発明の第1実施例のように、ブレーキトルクを回転速度に反比例させることも可能である。図12は最高回転速度の70%までの速度域では、図3の場合と全く同じとし、それ以上の速度域では界磁電流を調節して誘起電圧が一定となるようにした場合であり、上記高速域で速度に反比例するブレーキトルクが得られる。

【0056】また、ブレーキノッチ指令によって、界磁電流すなわち磁束を変化させると、同一回転速度での誘起電圧を変化させることができ、ブレーキトルクを変化させることができる。たとえば、図13は本発明の第2実施例をもとに、最高ブレーキノッチを7ノッチとし、ノッチの値の平方根に磁束の大きさが比例するようにした場合(第4実施例)で、図14に示すように、ノッチの値に比例するブレーキトルクが得られている。

【0057】図15は本発明に好適な永久磁石型同期機の模式図である。この図に示すように、回転子71は永久磁石からなり、固定子は、電気角で120°の位相を持つように配置された3個の界磁コイル72, 73, 74を有している。このような永久磁石からなる回転子71を用いることにより、構造が簡素化され、回転子71への電力の給電のための回路やブラシ、スリップリング

などの部品が不要となり、それらのメンテナンスをフリーにすることができる。

【0058】図16は本発明の実施例を示す同期機の車両への取付例を示す模式図であり、図16(a)は中空軸平行カルダン式を取付例、図16(b)は平行カルダン式を取付例、図16(c)は直角カルダン式を取付例をそれぞれ示している。これらの図において、81, 86, 91は同期機、82, 87, 92は電気ブレーキ回路、83, 88, 94は歯車装置、84, 89, 95は車軸、85, 90, 96は車輪、93は駆動軸である。

【0059】このように、同期機81, 86, 91には上記した電気ブレーキ回路82, 87, 92を接続して、ブレーキを作用させるべき軸としての車軸84, 89, 95に同期機81, 86, 91を連結されるようにしたので、ブレーキ装置を簡素化するとともに、メンテナンスを容易にすることができる。図17は本発明の実施例を示す自動車両への適用例を示す模式図である。

【0060】この図において、101は同期機、102はインバータ、103は充電器、104は直流電源、110は本発明の電気ブレーキ回路であり、リアクトル111、抵抗器112、開閉器113からなる。また、121は同期機101が連結される軸(駆動軸)、122は車軸、123は車輪(タイヤ)である。このように、自動車両の駆動・充電・電気ブレーキシステムのバックアップ用として、本発明の同期機を用いた電気ブレーキ装置を用いることができる。

【0061】このようなバックアップ用電気ブレーキ装置を搭載することにより、近い将来には、バックアップ用の機械式ブレーキを廃止することもでき、構造の簡素化、所要スペースの縮小化、メンテナンスを容易化、コストの低減化を図ることができる。なお、上記実施例においては、鉄道用車両、自動車への適用について述べたが、これに限定するものではなく、例えば、巻き上げ装置、エレベータ、圧延機の電気ブレーキ装置として適用することができることは言うまでもない。

【0062】また、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

【0063】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、以下のような効果を奏することができる。簡単な構成で、より実用的な電気ブレーキ装置を提供することができ、その実用的効果は著大である。特に、バックアップ用の電気ブレーキ装置として適用することにより、構造の簡素化、所要スペースの縮小化、メンテナンスの容易化、コストの低減化を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例を示す同期機を用いた電気ブレーキ装置(RL回路)の構成図である。

【図2】本発明の第1実施例を示す同期機を用いた電気ブレーキ装置の発電ブレーキ特性図(RL)(その1)である。

【図3】本発明の第1実施例を示す同期機を用いた電気ブレーキ装置の発電ブレーキ特性図(RL)(その2)である。

【図4】本発明の第2実施例を示す同期機を用いた電気ブレーキ装置(R-RL回路)の構成図である。

【図5】本発明の第2実施例を示す同期機を用いた電気ブレーキ装置の発電ブレーキ特性図(R-RL)である。

【図6】本発明の第1実施例で更に抵抗を切り換え可能にした場合の電気ブレーキ装置の構成図である。

【図7】本発明の第1実施例で更に抵抗を切り換え可能にした場合の電気ブレーキ装置の発電ブレーキ特性図である。

【図8】本発明の第2実施例で抵抗 R_1 、 R_2 とインダクタンス L_2 を切り換え可能とした場合の電気ブレーキ装置の構成図である。

【図9】本発明の第2実施例で抵抗 R_1 、 R_2 とインダクタンス L_2 を切り換え可能とした場合の電気ブレーキ装置の発電ブレーキ特性図である。

【図10】本発明の第3実施例を示す同期機の発生電圧を可変とした場合の電気ブレーキ装置の構成図である。

【図11】本発明の第3実施例を示す同期機の発生電圧を可変とした場合の電気ブレーキ装置の発電ブレーキ特性図(その1)である。

【図12】本発明の第3実施例を示す同期機の発生電圧を可変とした場合の電気ブレーキ装置の発電ブレーキ特性図(その2)である。

【図13】本発明の第4実施例を示す同期機の発生電圧を可変とした場合の電気ブレーキ装置の構成図である。

【図14】本発明の第4実施例を示す同期機の発生電圧を可変とした場合の電気ブレーキ装置の発電ブレーキ特性図である。

【図15】本発明に好適な永久磁石型同期機の模式図である。

【図16】本発明の実施例を示す同期機の車両への取付

け例を示す模式図である。

【図17】本発明の実施例を示す自動車両への適用例を示す模式図である。

【図18】従来の電力回生ブレーキの回路図である。

【図19】従来の発電抵抗ブレーキの回路図である。

【図20】同期発電機に抵抗を接続した回路(推測回路)図である。

【図21】同期発電機に抵抗を接続した回路の発電ブレーキ特性図(R)である。

【図22】界磁電流制御回路を加えた、同期発電機に抵抗を接続した回路(推測回路)図である。

【符号の説明】

1, 102 インバータ

11, 21, 81, 86, 91, 101 同期機

12, 23, 112 抵抗器

13, 25, 34, 113 開閉器

22, 30, 40, 50, 60, 82, 87, 92, 1

10 電気ブレーキ回路

24, 32, 41, 51, 111 リアクトル

26 ブレーキを作用させるべき軸

27 ブレーキを作用させるべき装置

31, 42, 52, 61 第1の抵抗器

33, 43, 53, 62 第2の抵抗器

44, 54, 67 第1の開閉器

45, 55, 68 第2の開閉器

63 第1のリアクトル

64 第2のリアクトル

65 第3の抵抗器

66 第4の抵抗器

30 69 第3の開閉器

71 回転子(永久磁石)

72, 73, 74 界磁コイル

83, 88, 94 歯車装置

84, 89, 95, 122 車軸

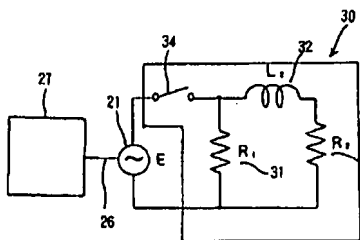
85, 90, 96, 123 車輪

93, 121 駆動軸

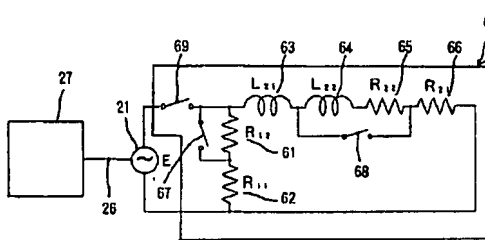
103 充電器

104 直流電源

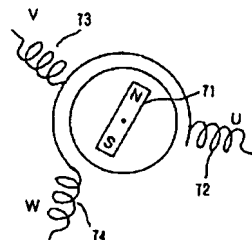
【図4】



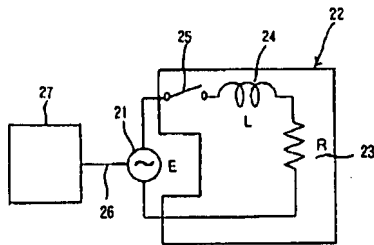
【図8】



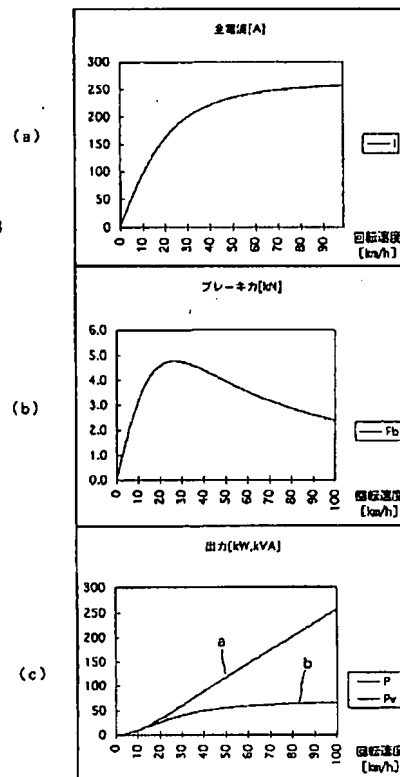
【図15】



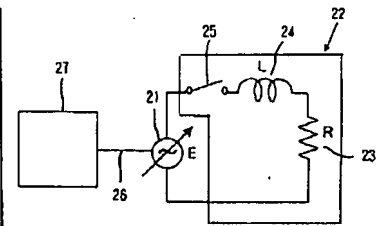
【図1】



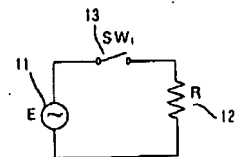
【図2】



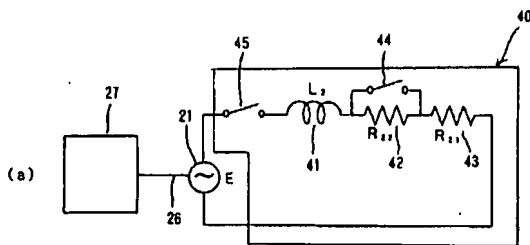
【図10】



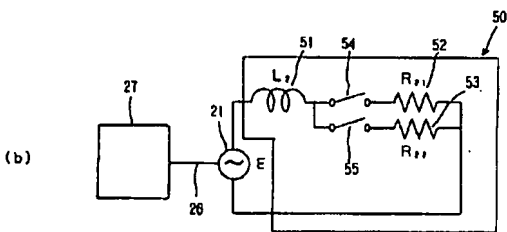
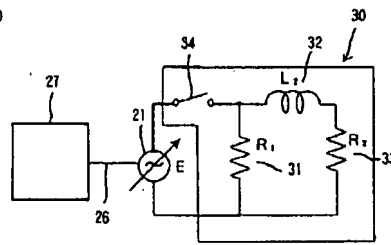
【図20】



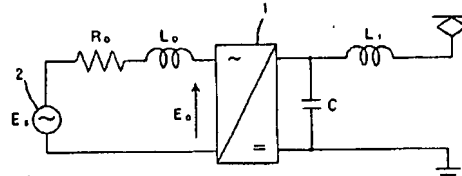
【図6】



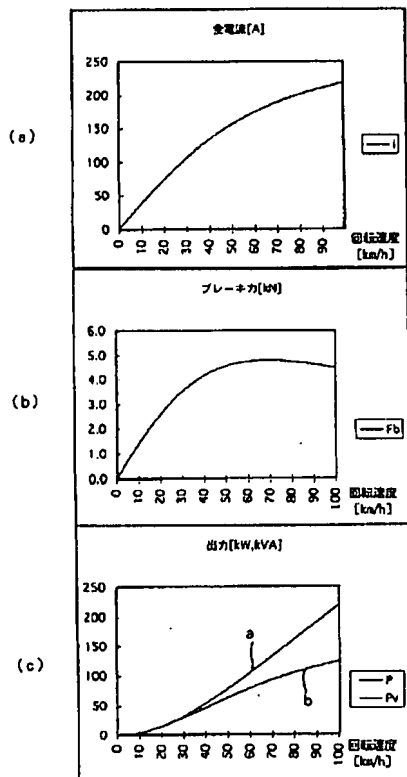
【図13】



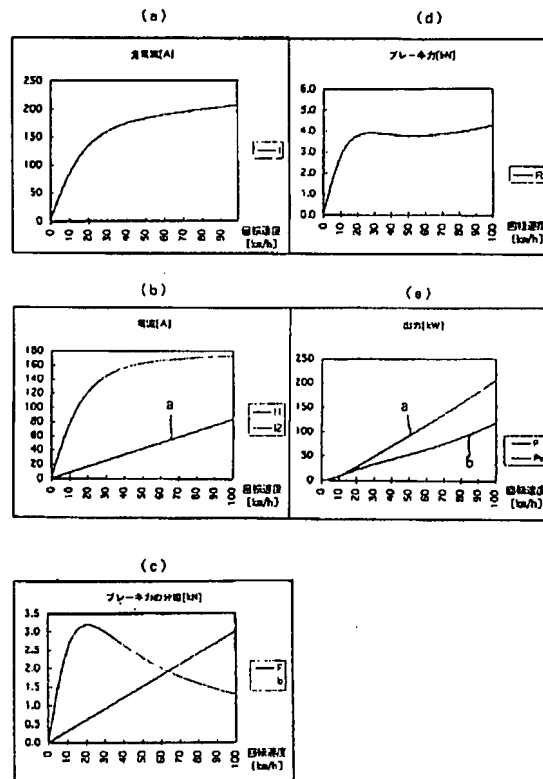
【図18】



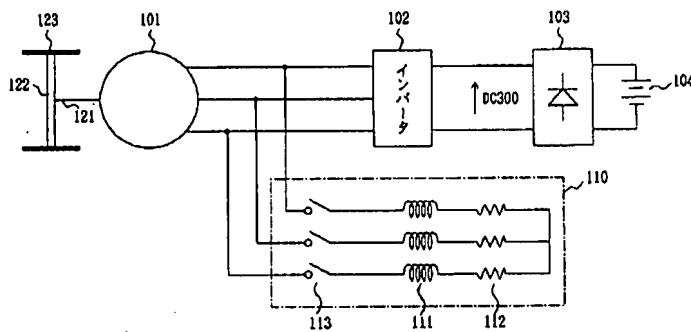
【図3】



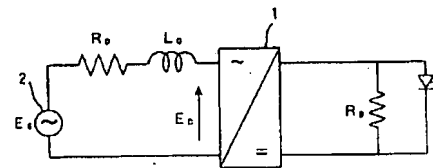
【図5】



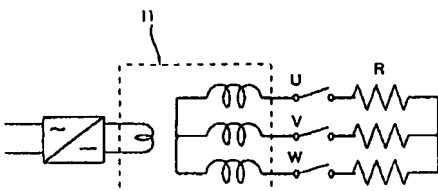
【図17】



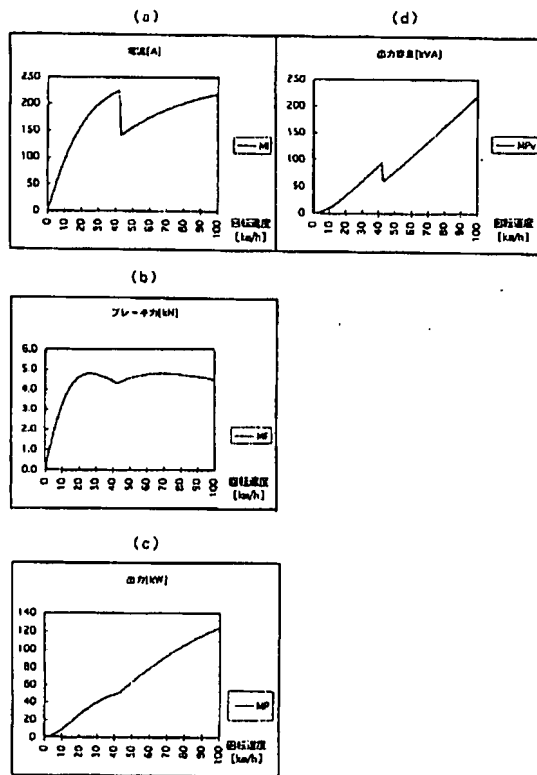
【図19】



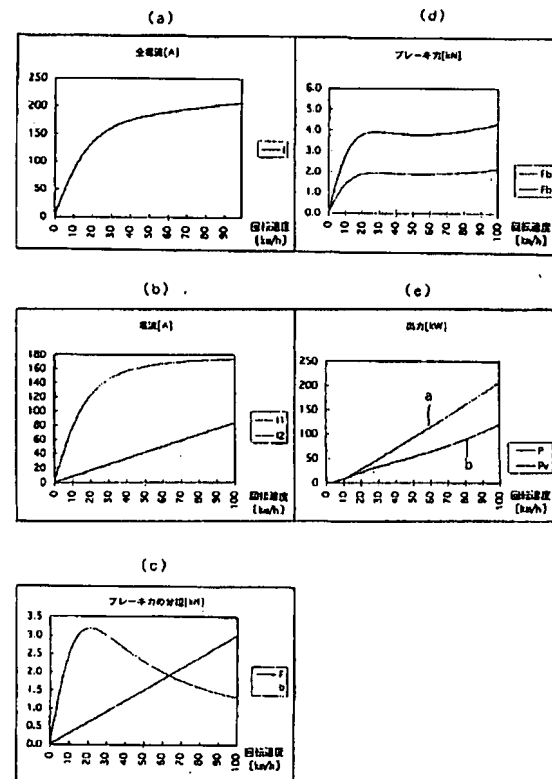
【図22】



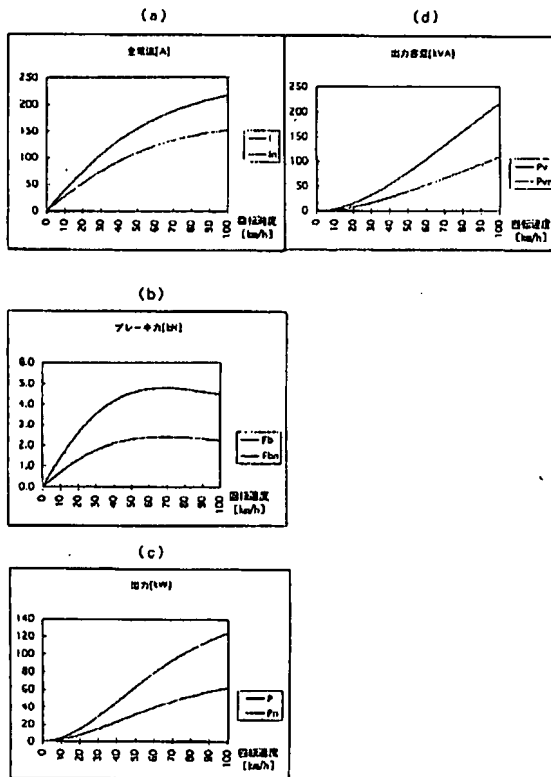
【図7】



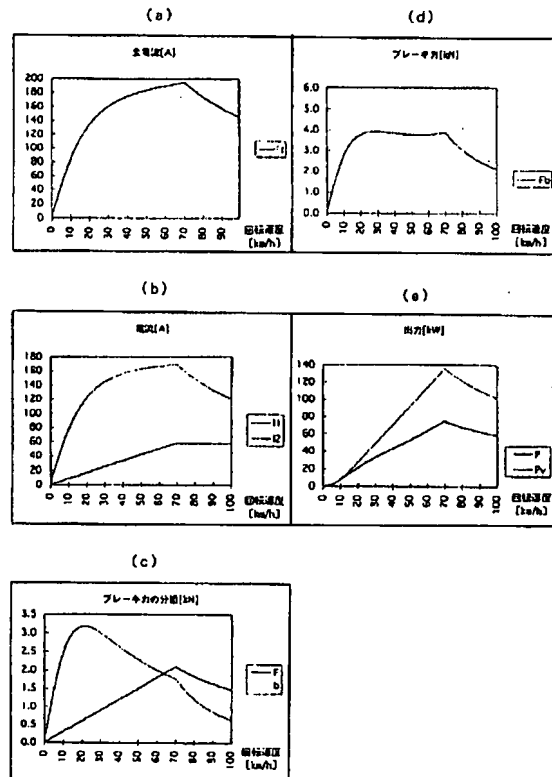
【図9】



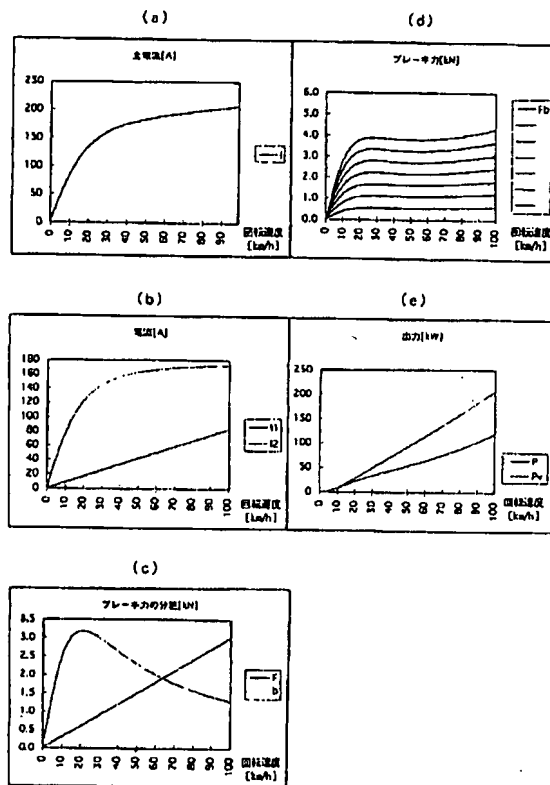
【図11】



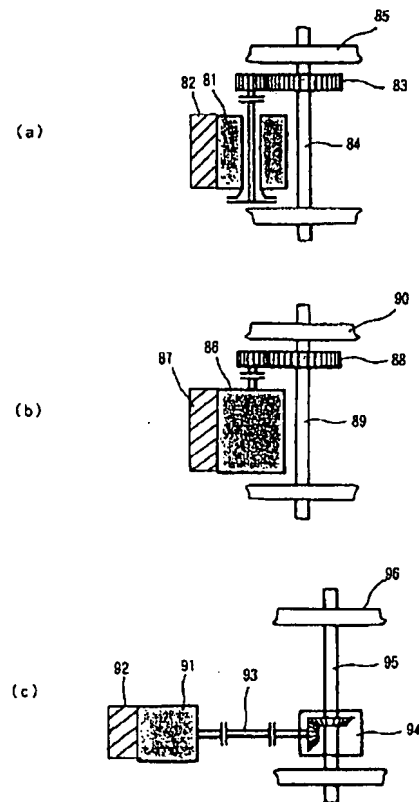
【図12】



【図14】



【図16】



【図21】

